

Раздел 2 СУДОВОЖДЕНИЕ, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 656.61.052.4

DOI: 10.34046/aumsuomt97/4

ОБНАРУЖЕНИЕ МАНЕВРА СОПРОВОЖДАЕМОГО МОРСКОГО ОБЪЕКТА

А.С. Васьков, доктор технических наук, профессор

А.А. Грищенко, аспирант

Предлагается обнаружение маневра сопровождаемого объекта. Метод основывается на логических операциях оценок разностей последовательных значений курса, линейной и угловой скоростей, ускорения объекта. Также сравниваются отклонения курса и скорости объекта с пороговыми значениями для соответствующих условий плавания. Полученные алгоритмы предлагаются для систем поддержки принятия решения в судовождении.

Ключевые слова: курс, скорость, ускорение, маневр, логические операции, пороговые значения.

DETECTION OF MANEUVER OF ACCOMPANIED SEA OBJECT

A. S. Vaskov, A. A. Grishchenko

Detection of maneuver of accompanied object is offered. The method is based on logic operations of estimations of differences of consecutive values of a course, linear and angular speeds, object accelerations. Also deviations of a course and speed of object are compared to threshold values for corresponding conditions of swimming. The received algorithms are offered for systems of support of decision-making in navigation.

Keywords: a course, speed, acceleration, maneuver, logic operations, threshold values.

Обнаружение маневров подвижных объектов при сопровождении является важнейшей задачей для функционирования судовых и береговых систем управления движением судов, контроля и обеспечения безопасности мореплавания [1-13].

В исследованиях [1, 5-10, 12, 13] рассматриваются различные методы и подходы решений при обнаружении начала маневра объекта наблюдения, связанные с вероятностными и пороговыми значениями кинематических параметров их движения. Многие из методов достаточно сложные, требуют дополнительных данных, кроме основных измеряемых кинематических характеристик движения объекта. Эти методы не всегда пригодны для медленно изменяющихся кинематических параметров движения, свойственных морским подвижным объектам.

В исследованиях авторов [3, 4] разработаны методы обнаружения маневра морского подвижного объекта для систем внешнего сопровождения и контроля навигационной безопасности по полученным оценкам скоростей изменения траекторных параметров. На основе принципов естественного разделения задач управления судном и иерархии кинематических параметров движения [2] в первую очередь предлагается анализировать изменения курса и скорости движения объекта, которые изменяются быстрее по сравнению с другими зависимыми от этих кинематических параметров.

В данном исследовании на основе изменений курса и скорости движения сопровождаемого объекта [3, 4] предлагается новый подход, который заключается в совместном анализе разности последовательных значений курса и угловой скорости поворота, разности последовательных значений скорости и ускорения движения наблюдаемого объекта, представленных на рис. 1, 2.

Из анализа графиков этих изменений (см. рис. 1, 2), с учетом предыдущих исследований [3, 4], предлагаются следующие логические соотношения для сравнения значений и знаков линейных и угловых движений, а также их пороговых значений при соответствующих условиях навигационной обстановки с целью обнаружения маневра наблюдаемого объекта:

для маневра курсом:

$$\begin{aligned} \operatorname{sgn}(\hat{K}_i - \hat{K}_{i-1}) &= \operatorname{sgn}(\hat{\omega}_i) \\ \left\{ \begin{aligned} (\hat{K}_i - \hat{K}_{i-1}) > 0; \hat{\omega}_i > 0 & - \text{поворот вправо;} \\ (\hat{K}_i - \hat{K}_{i-1}) < 0; \hat{\omega}_i < 0 & - \text{поворот влево;} \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (1)$$

дополнительное условие

$$\left| \hat{K}_i - \hat{K}_{i-1} \right| > \Delta K; \left| \hat{\omega}_i - \hat{\omega}_{i-1} \right| > \Delta \omega, \quad (2)$$

для маневра скоростью:

$$\text{sgn}(\hat{V}_i - \hat{V}_{i-1}) = \text{sgn}(\hat{\alpha}_i),$$

$$\begin{cases} (\hat{V}_i - \hat{V}_{i-1}) > 0; & \hat{\alpha}_i > 0 - \text{у величение } V_i; \\ (\hat{V}_i - \hat{V}_{i-1}) < 0; & \hat{\alpha}_i < 0 - \text{у меньшеение } V_i; \end{cases} \quad (3)$$

дополнительное условие:

$$|\hat{V}_i - \hat{V}_{i-1}| > \Delta \hat{V}_i; \quad |\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_{i-1}| > \Delta \alpha, \quad (4)$$

где ΔK , $\Delta \omega$ – пороговые значения отклонений курса и угловой скорости при рыскании объекта от внешних воздействий для конкретных условий плавания;

ΔV , Δa – пороговые значения изменений скорости хода и ускорений от внешних воздействий для конкретных условий плавания;

$\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_{i-1}, \hat{\alpha}_i$ – текущие и предыдущие сглаженные оценки (измерения) угловой скорости и линейного ускорения объекта наблюдения;

$\hat{K}_i, \hat{K}_{i-1}, \hat{V}_i, \hat{V}_{i-1}$ – текущие и предыдущие сглаженные (измеренные) значения курса и скорости движения объекта наблюдения.

Пороговые значения контролируемых параметров задаются, исходя из конкретных навигационно-гидрометеорологических условий плавания и типа предполагаемого контролируемого объекта. Пороговые значения могут также оцениваются по статистическим данным измерений отклонений курса и скорости на прямолинейных и криволинейных участках движения (см. рис. 1, 2).

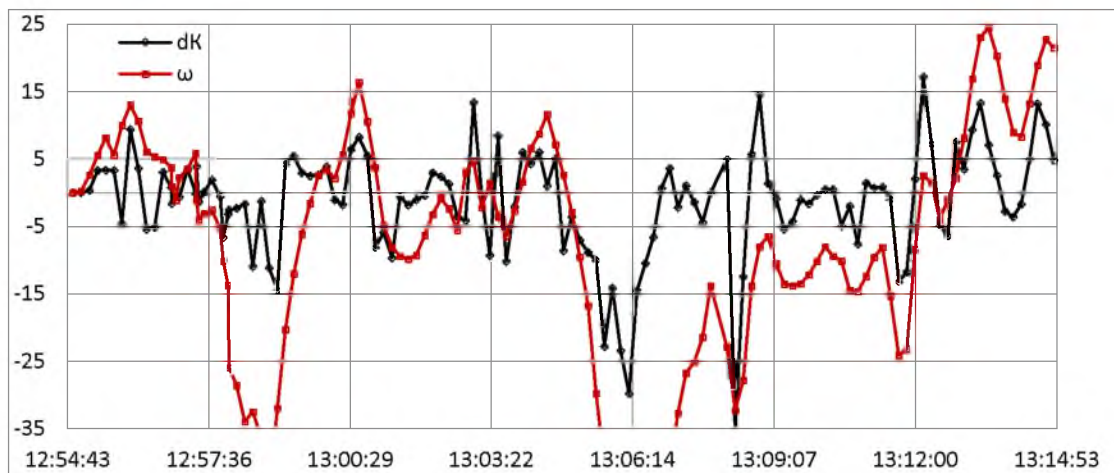


Рисунок 1 – Графики разности последовательных значений курса и угловой скорости (dK – разностей значений курса; ω – угловая скорость)

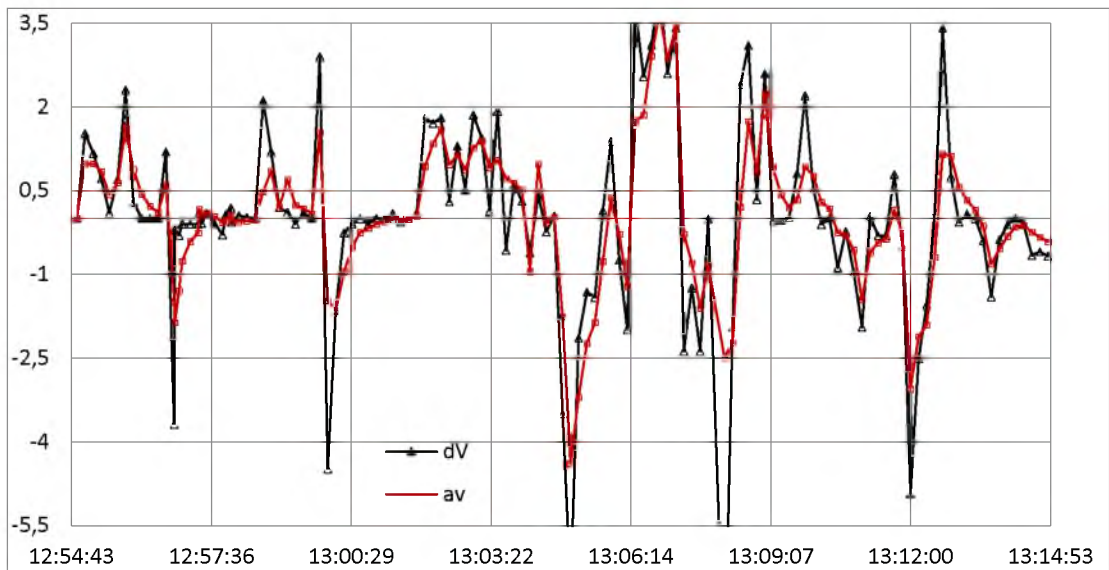


Рисунок 2 – Графики разностей последовательных значений линейной скорости и ускорения (dV – разностей значений линейной скорости; av – ускорение)

Пороговые значения отклонений курса и угловой скорости (ΔK , $\Delta \omega$) (2) при рыскании объекта от внешних воздействий для данных, представленных на рис. 1, будут соответствовать по средним квадратическим отклонениям значениям 5° , $5^\circ/\text{мин}$.

Пороговые значения отклонений линейной скорости и ускорения объекта (ΔV , Δa) (4) от

внешних воздействий для данных, представленных на рис. 2, будут соответствовать по средним квадратическим отклонениям значениям $0,3$ уз; $0,01$ м/с.

Процессы моделирования логических операций (1)-(4) при функционировании предлагаемого алгоритма обнаружения маневров при сопровождении объекта на основе экспериментальных данных (см. рис. 1, 2) представлены на рис. 3, 4.

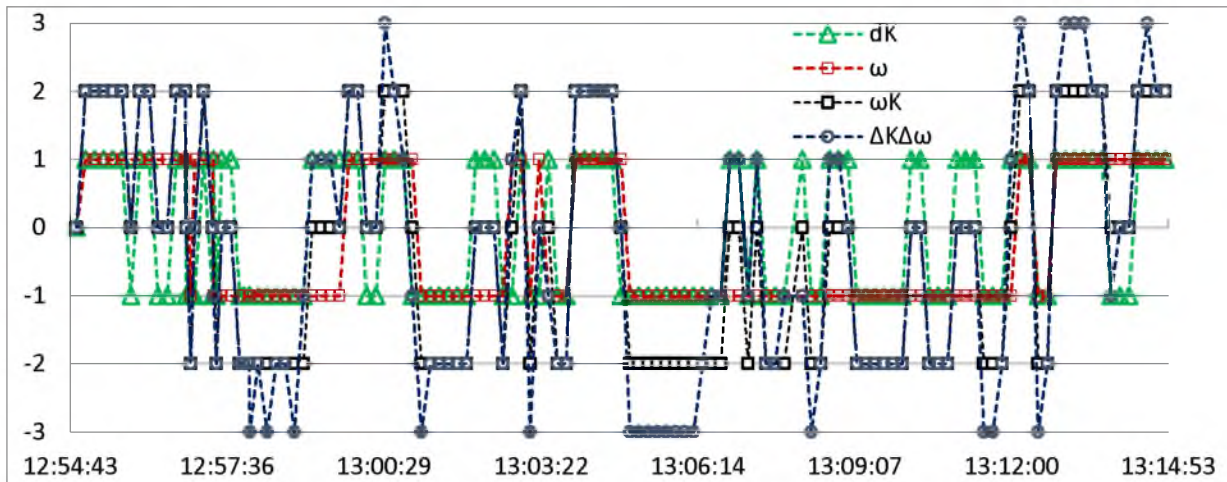


Рисунок 3 – Графики контроля маневра объекта курсом:

dK , ω – знаки разности последовательных значений курса и угловой скорости; ωK – совпадение знаков разности последовательных значений курса и угловой скорости (1); $\Delta K \Delta \omega$ – знаки отклонений курса и угловой скорости, превышающие пороговые значения (2); θ – разные знаки изменения курса и угловой скорости (1) – нет маневра – удержание объекта на курсе; $1, -1$ – знаки положительные изменения курса и угловой скорости – вправо или отрицательные – влево, соответственно (1); $2, -2$ – совпадение положительных или отрицательных знаков изменения курса и угловой скорости (1), соответственно – маневр поворота вправо или – влево; $3, -3$ – несовпадение одного из знаков изменения курса, угловой скорости (1) или их порогового значения (2), соответственно – начало маневра поворота вправо или – влево или его одерживание.

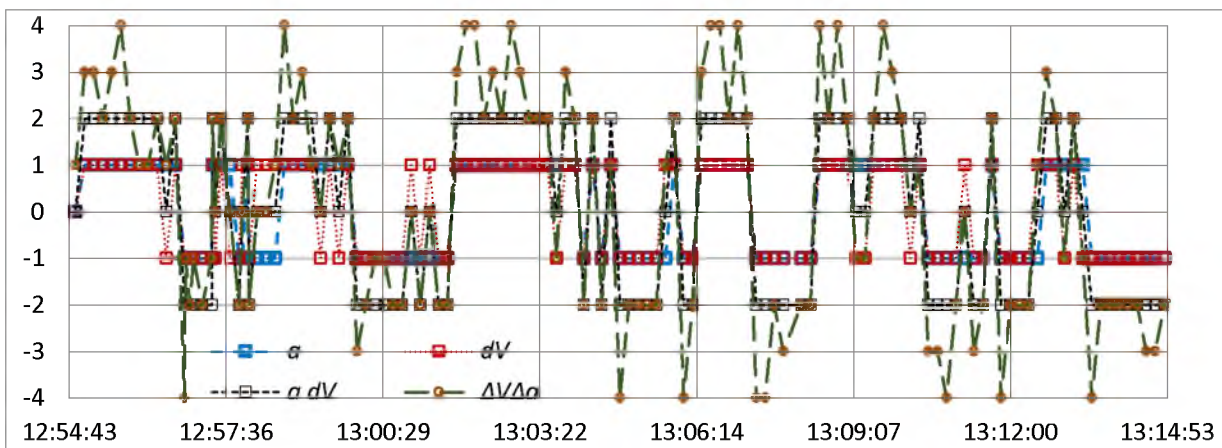


Рисунок 4 – Графики контроля маневра объекта линейной скоростью:

$a dV$ – знаки ускорения и разности последовательных значений скорости (3); $a dV$ – совпадение знаков разности последовательных значений скорости и ускорения (3); $\Delta V \Delta a$ – знаки отклонений скорости и ускорения, превышающие пороговые значения (4); θ – разные знаки изменения скорости и ускорения (3) – нет маневра – удержание режима движения объекта; $1, -1$ – знаки положительные - увеличения скорости и ускорения, отрицательные - уменьшения скорости и ускорения (3); $2, -2$ – совпадение положительных – маневр увеличения скорости (3) или отрицательных знаков изменения скорости и ускорения – маневр уменьшения скорости (3), соответственно; $3, -3$ – несовпадение одного из знаков изменения скорости, ускорения (3) или их порогового значения (4), соответственно – начало увеличения скорости или – уменьшения скорости; $4, -4$ – совпадение знаков изменения скорости, ускорения и их пороговых значений – интенсивное увеличение скорости или торможение объекта

Совместный подробный анализ графиков (см. рис. 1 – 4) показывает, что маневр объекта сопровождения обнаруживается алгоритмами (1)-(4) непосредственно по двум измерениям, выполненным в рассматриваемом примере через интервалы 10 с. В действующих системах судовождения интервалы обновления информации, как правило, регламентируются промежутками времени не более 2 с.

Предлагаемые алгоритмы обнаружения маневра объекта при сопровождении (1)-(4) показывают хорошую работоспособность:

Они показывают начало маневра по совпадению знаков разности курсов, скоростей, угловой скорости и ускорения соответственно.

Умеренное изменение курса и скорости при их значениях меньше пороговых (2), (4).

Одерживание изменения курса при несовпадении знаков изменения курса и углового ускорения.

Увеличение или уменьшение скорости движения при несовпадении знаков изменения скорости и ускорения.

Интенсивные маневры изменения курса или скорости при совпадении знаков изменения всех рассматриваемых параметров с превышением пороговых значений (1)-(4).

Таким образом, алгоритмы обнаружения маневра объекта при сопровождении (1)-(4) могут рекомендоваться для практического использования при разработке систем управления и контроля движением морских подвижных объектов.

Литература

1. Артюшенко, В.М. Кинематические и вероятностные характеристики процесса поиска и обнаружения движущегося объекта [Текст]/ В.М. Артюшенко, В.И. Воловач// Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2017. – №3. – С.1–25. (<http://jre.cplire.ru/jre/mar17/10/text.pdf>).
2. Васьков, А.А. Разделение задач управления движением судна [Текст]/ А.А. Васьков, А.С. Васьков// Изв. вузов Сев.Кавк. рег. Техн.науки. – 2002. – Спецвыпуск. – С.51-54.
3. Васьков, А.С. Прогнозирование и контроль движения судна [Текст]/ А.С. Васьков, А.А. Грищенко// Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №1 (43). – Т.2. – С.92-97.
4. Васьков, А.С. Сопровождение параметров траектории движения судна [Текст]/ А.С. Васьков, А.А. Грищенко// Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №4 (46). – Т.3. – С.77–82.
5. Верба, В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития [Текст]. – М.: Радиотехника, 2008. – 432 с.
6. Волчков, В.П. Многогипотезный алгоритм радиолокационного слежения с адаптацией по порогу обнаружения [Текст]/ В.П. Волчков, В.Г. Тактакишвили// Материалы Международной научно-технической конференции (INTERMATIS – 2017). – М.: МИРЭА, 2017. – Ч.4. – С. 977-980.
7. Гриняк, В.М. Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов [Текст]: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н. (05.13.18). – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2016. – 36 с.
8. Захаров, К.В. Обнаружение манёвров надводных судов с учётом косвенных признаков [Текст]: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н.-Ульяновск: ФГБОУ ВПО УГТУ, 2014. – 22 с.
9. Логвинов, М.А. Алгоритм сопровождения маневрирующих целей [Текст]/ М.А. Логвинов, А.С. Буров, С.Н. Барцевич// Наука и образование (электронное издание). – 2012. – №01. – С.1-15. (77-30569/293090, <http://technomag.edu.ru>).
10. Меркулов, В.И. Учет маневра в алгоритмах автоматического сопровождения [Текст]/ В.И. Меркулов, С.Б. Гусаров//Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2018. – №11. – С.1-14. (<http://jre.cplire.ru/jre/nov18/7/text.pdf>).
11. Мироненко, А.А. Принципы настройки и испытаний систем судна-робота [Текст]/ Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – №3. – С.71-80.
12. Рыбас, В.Н. Алгоритм обработки радиолокационных данных о маневрирующих объектах [Текст]/ Научный вестник МГТУ ГА. Прикладная математика. Информатика. – 2006. – № 105. – С.69-75.
13. Семущин, И.В. др. Моделирование и оценивание траектории движущегося объекта [Текст]/ Вестник ЮУрГУ. Сер. МПП. – 2017. – Т.10. – №3. – С.108-119.

REFERENCES

1. Artyushenko, V.M. Kinematicheskie i veroyatnostnye harakteristiki processa poiska i obnaruzheniya dvizhushchegosya ob'ekta [Tekst]/ V.M.Artyushenko, V.I.Volovach// ZHurnal radioelektroniki [elektronnyj zhurnal]. – 2017. – №3. – S.1–25. (<http://jre.cplire.ru/jre/mar17/10/text.pdf>).
2. Vas'kov, A.A. Razdelenie zadach upravleniya dvizheniem sudna [Tekst]/ A.A.Vas'kov, A.S.Vas'kov// Izv.vuzov Sev.Kavk. reg. Tekhn.nauki, 2002. – Specvypusk. – S.51-54.
3. Vas'kov, A.S. Prognozirovanie i kontrol' dvizheniya sudna [Tekst]/ A.S.Vas'kov, A.A. Grishchenko// Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2019. – №1 (43). – T.2. – S.92–97.
4. Vas'kov, A.S. Soprovozhdenie parametrov traektorii dvizheniya sudna [Tekst]/ A.S.Vas'kov, A.A. Grishchenko// Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2019. – №4 (46). – T.3. – S.77–82.
5. Verba, V.S. Aviacionnye komplekсы radiolokacionnogo dozora i navedeniya. Sostoyanie i tendencii razvitiya [Tekst]. – M.: Radiotekhnika, 2008. – 432 s.
6. Volchkov, V.P. Mnogogipoteznyj algoritm radiolokacionnogo slezheniya s adaptaciej po porogu obnaruzheniya [Tekst]/ V.P.Volchkov, V.G.Tak-takishvili// Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (INTERMATIS – 2017). – M.: MIREA, 2017. – CH.4. – S.977-980.
7. Grinyak, V.M. Razrabotka matematicheskikh modelej obespecheniya bezopasnosti kollektivnogo

- dvizheniya morskikh sudov [Tekst]: Avtoref. diss. na soisk. uch. st. d.t.n. (05.13.18). – Vladivostok: IAPU DVO RAN, 2016. – 36 s.
8. Zaharov, K.V. Obnaruzhenie manyovrov nadvodnykh sudov s uchyotom kosvennykh priznakov [Tekst]: Avtoref. diss. na soisk. uch. st. k.t.n.-Ul'yanovsk: FGBOU VPO UGTU, 2014. – 22 s.
 9. Logvinov, M.A. Algoritm soprovozhdeniya manevriruyushchih celej [Tekst]/ M.A.Logvinov, A.S.Burov, S.N.Barcevic// Nauka i obrazovanie (elektronnoe izdanie).- 2012.- №01.- S.1-15. (77-30569/293090, <http://technomag.edu.ru>).
 10. Merkulov, V.I. Uchet manevra v algoritmah avtomaticheskogo soprovozhdeniya [Tekst]/V.I.Merkulov, S.B.Gusarov//Zhurnal radioelektroniki [elektronnyj zhurnal]. – 2018.– №11.– S.1-14. (<http://jre.cplire.ru/jre/nov18/7/text.pdf>).
 11. Mironenko, A.A. Principy nastrojki i ispytaniy sistem sudna-robota [Tekst]/Ekspluatatsiya morskogo transporta.- 2018.- №3.- S.71-80.
 12. Rybas, V.N. Algoritm obrabotki radiolokacionnykh dannykh o manevriruyushchih ob"ektakh [Tekst]/Nauchnyj vestnik MGTU GA. Prikladnaya matematika. Informatika.- 2006.- № 105.- S.69-75.
 13. Semushin, I.V. dr. Modelirovanie i ocenivanie traektorii dvizhushchegosya ob"ekta [Tekst]/ Vestnik YUUrGU. Ser. MPP.- 2017.- T.10.- №3.- S.108-119.

УДК 656.61.052.4: 629.12.014.6

DOI: 10.34046/aumsuomt97/5

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОСЕДАНИЯ СУДНА

A.C. Васьков, доктор технических наук, профессор

A.A. Мироненко, доктор технических наук, доцент

Сравниваются методы определения динамического проседания судна при движении на мелководье и в каналах, полученные из отечественных и зарубежных исследований. Все формулы разделены на группы линейной, квадратичной, кубической и более сложной функциональной зависимости от скорости движения судна с коэффициентами, зависящими от путевых условий и размеров судна. Дан анализ выражений коэффициентов и значений динамического проседания судна.

Ключевые слова: Скорость, динамическое проседание судна, мелководье, канал, глубина, число Фруда.

ANALYSIS OF THE VESSEL'S DYNAMIC SQUAT CALCULATION METHODS

A.S. Vaskov, A.A. Mironenko

The various methods used for determining the vessel's squat while she steamed in the shallow water, in channels presented in numerous foreign and domestic research are compared. All the equations are subdivided into groups by linear, quadratic, cubic and more complex functional dependence on the ship's speed with the coefficients correlated with the navigation conditions and the vessel's dimensions. The analysis of the equation representing calculation of the coefficients and values of the vessel's squat is given.

Key words: vessel's speed, dynamic squat, shallow waters, channel, depth, Froude number.

Из курса гидромеханики известно, что при движении судна, вблизи его бортов, происходит перераспределение давлений и наблюдается понижение уровня свободной поверхности жидкости, вследствие чего увеличивается осадка судна, т.е. возникает его проседание (squat). Этот эффект усиливается в условиях мелководья и в каналах, что приводит к возрастанию скоростей обтекания корпуса и всех составляющих сопротивления воды [1-9, 12-20]. На основании формулы Бернулли это проседание определяется выражением [3]

$$\Delta d = \frac{v_1^2 - v^2}{2g}, \quad (1)$$

где Δd - понижение уровня поверхности воды вблизи судна (динамическое проседание - увеличение осадки судна), м;

V_1, V - скорость стесненного потока вблизи судна и впереди его, соответственно, м/с;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Цель данного исследования заключается в

анализе конечных выражений, содержащих различные параметры, которые позволяют рассчитать проседание при движении судна. Эти выражения в различных источниках получены на основе теоретических положений по определению скорости стесненного потока в выражении (1) или путем аппроксимации экспериментальных и модельных данных движения судна в различных путевых условиях [1-32].

Для количественной оценки степени влияния мелководья и канала на движение судна обычно используют безразмерные величины: отношение глубины к осадке или длине судна, отношение площадей мидель - шпангоута судна и площади сечения канала; критерии динамического подобия потоков, которые представляются в виде числа Фруда или числа Фруда по глубине:

$$k_H = H/d; \quad k_r = S_\phi/S_c; \quad (2)$$

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gL}}; \quad F_{rH} = \frac{v}{\sqrt{gH}} = F_r \sqrt{\frac{L}{H}}, \quad (3)$$

где k_H, k_r - коэффициенты стеснения потока